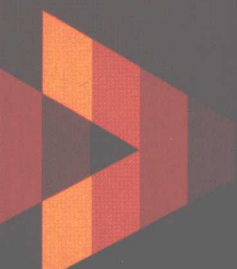


岩石力学与
工程研究著作丛书



岩土工程界面识别 理论与方法

◎谭卓英 著



TU4/75

2008

岩石力学与工程研究著作丛书

岩土工程界面识别理论与方法

谭卓英 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍基于钻孔参数的风化花岗岩地层识别的技术、理论与方法。全书共分八章,分别为:岩土工程界面识别方法概述;DPM 系统的组成与工作原理;DPM 系统数据的采集及基本图形;界面识别的基本理论;穿孔参数在岩土界面处的变化;穿孔参数在风化花岗岩地层中的响应特征;风化花岗岩地层界面识别的能量原理;风化花岗岩地层界面识别的相似性原理。本书内容涵盖了当今国际岩土工程领域在钻孔地层识别技术、方法与理论方面的前沿进展,全书论述严谨、深入浅出,并有大量图表数据,易于阅读和理解。

本书可供高等院校和科研机构岩土工程等相关领域的大学高年级本科生、研究生、大学教师及科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程界面识别理论与方法 / 谭卓英著. —北京:科学出版社,2008
ISBN 978-7-03-020150-8

I. 岩… II. 谭… III. ①岩土工程—界面—识别—理论 ②岩土工程—
界面—识别—方法 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 009754 号

责任编辑:沈 建 / 责任校对:刘亚琦

责任印制:刘士平 / 封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年2月第 一 版 开本:B5(720×1000)

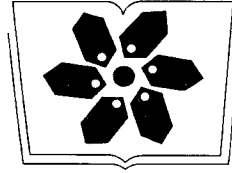
2008年2月第一次印刷 印张:13

印数:1—3 000

字数:233 000

定价:40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)



中国科学院科学出版基金资助出版

《岩石力学与工程研究著作丛书》编委会

名誉主编: 孙 钧 王思敬 钱七虎 谢和平

主 编: 冯夏庭

副主编: 何满潮 黄润秋 周创兵

秘书长: 黄理兴 刘宝莉

编 委: (以姓氏汉语拼音字母顺序排列)

蔡美峰	曹 洪	戴会超	范秋雁	冯夏庭
高文学	郭熙林	何昌荣	何满潮	黄宏伟
黄理兴	黄润秋	金丰年	景海河	鞠 杨
康红普	李 宁	李 晓	李海波	李建林
李世海	李术才	李夕兵	李小春	李新平
廖红建	刘汉东	刘汉龙	刘宝莉	刘泉声
吕爱钟	栾茂田	莫海鸿	潘一山	任辉启
余诗刚	盛 谦	施 斌	谭卓英	唐春安
王 驹	王金安	王明洋	王小刚	王学潮
王芝银	邬爱清	徐卫亚	杨 强	杨光华
岳中琦	张金良	赵 文	赵阳升	郑 宏
周创兵	周德培	朱合华		

《岩石力学与工程研究著作丛书》序

随着西部大开发等相关战略的实施,国家重大基础设施建设正以前所未有的速度在全国展开;在建、拟建水电工程达 30 多项,大多以地下洞室(群)为其主要水工建筑物,如龙滩、小湾、三板溪、水布垭、虎跳峡、向家坝等,其中白鹤滩水电站的地下厂房高达 90m、宽达 35m、长 400 多 m;锦屏二级水电站 4 条引水隧道,单洞长 16.67km,最大埋深 2525m,是世界上埋深与规模均为最大的水工引水隧洞;规划中的南水北调西线工程的隧洞埋深大多在 400~900m,最大埋深 1150m。矿产资源与石油开采向深部延伸,许多矿山采深已达 1200m 以上。高应力的作用使得地下工程冲击岩压显现剧烈,岩爆危险性增加,巷(隧)道变形速度加快、持续时间长。城镇建设与地下空间开发、高速公路与高速铁路建设日新月异。海洋工程(如深海石油与矿产资源的开发等)也出现方兴未艾的发展势头。能源地下储存、高放核废物的深地质处置、天然气水合物的勘探与安全开采、CO₂ 地下隔离等已引起政府的高度重视,有的已列入国家发展规划。这些工程建设提出了许多前所未有的岩石力学前沿课题和亟待解决的工程技术难题。例如,深部高应力下地下工程安全性评价与设计优化问题,高山峡谷地区高陡边坡的稳定性问题,地下油气储库、高放核废物深地质处置库以及地下 CO₂ 隔离层的安全性问题,深部岩体的分区碎裂化的演化机制与规律,等等,这些难题的解决迫切需要岩石力学理论的发展与相关技术的突破。

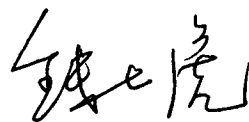
近几年来,国家 863 计划、国家 973 计划、“十一五”国家科技支撑计划、国家自然科学基金重大研究计划以及人才和面上项目、中国科学院知识创新工程项目、教育部重点(重大)与人才项目等,对上述科学与工程技术的难题的攻克陆续给予了有力资助,并针对重大工程在设计 and 施工过程中遇到的技术难题组织了一些专项科研,吸收国内外的优势力量进行攻关。在各方面的支持下,这些课题已经取得了很多很好的研究成果,并在国家重点工程建设中发挥了重要的作用。目前组织国内同行将上述领域所研究的成果进行了系统地总结,并出版《岩石力学与工程研究著作丛书》,值得钦佩、支持与鼓励。

该研究丛书涉及近几年来我国围绕岩石力学学科的国际前沿、国家重大工程建设中所遇到的工程技术难题的攻克等方面所取得的主要创新性研究成果,包括深部及其复杂条件下的岩体力学的室内、原位实验方法和技术,考虑复杂条件与过程(如高应力、高渗透压、高应变速率、温度-水流-应力-化学耦合)的岩体力学特性、变形破裂过程规律及其数学模型、分析方法与理论,地质超前预报方法与技术,工

程地质灾害预测预报与防治措施,断续节理岩体的加固止裂机理与设计方法,灾害环境下重大工程的安全性,岩石工程实时监测技术与应用,岩石工程施工过程仿真、动态反馈分析与设计优化,典型与特殊岩石工程(海底隧道、深埋长隧洞、高陡边坡、膨胀岩工程等)超规范的设计与实践实例,等等。

岩石力学是一门应用性很强的学科。岩石力学课题来自于工程建设,岩石力学理论以解决复杂的岩石工程技术难题为生命力,在工程实践中检验、完善和发展。该研究丛书较好地体现了这一岩石力学学科的属性与特色。

我深信《岩石力学与工程研究著作丛书》的出版,必将推动我国岩石力学与工程研究工作的深入开展,在人才培养、岩石工程建设难题的攻克以及推动技术进步方面将会发挥显著的作用。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '陈兴' (Chen Xing), written in a cursive style.

2007年12月8日

《岩石力学与工程研究著作丛书》编者的话

近二十年来,随着我国许多举世瞩目的岩石工程不断兴建,岩石力学与工程学科各领域的理论研究和工程实践得到较广泛的发展,科研水平与工程技术能力得到大幅度提高。在岩石力学与工程基本特性、理论与建模、智能分析与计算、设计与虚拟仿真、施工控制与信息化、测试与监测、灾害性防治、工程建设与环境协调等诸多学科方向与领域都取得了辉煌成绩。特别是解决岩石工程建设中的关键性复杂技术疑难问题的方法,973、863、国家自然科学基金等重大、重点课题研究成果,为我国岩石力学与工程学科的发展发挥了重大的推动作用。

应科学出版社诚邀,由国际岩石力学学会副主席、岩石力学与工程国家重点实验室主任冯夏庭教授和黄理兴研究员策划,先后在武汉与葫芦岛市召开《岩石力学与工程研究著作丛书》编写研讨会,组织我国岩石力学工程界的精英们参与本丛书的撰写,来反映我国近期在岩石力学与工程领域研究取得的最新成果。本丛书内容涵盖岩石力学与工程的理论研究、试验方法、实验技术、计算仿真、工程实践等各个方面。出版时间计划为2007~2011年,分期分批出版。到2007年底,已有二十多本专著列入出版计划。

本丛书编委会编委由58位来自全国水利水电、煤炭石油、能源矿山、铁道交通、资源环境、市镇建设、国防科研、大专院校、工矿企业等单位与部门的岩石力学与工程界精英组成。编委会负责选题的审查,科学出版社负责稿件的审定与出版。

在本套丛书的策划、组织与出版过程中,得到了各专著作者与编委的积极响应;得到了各界领导的关怀与支持,中国岩石力学与工程学会理事长钱七虎院士特为丛书作序;中国科学院武汉岩土力学研究所冯夏庭、黄理兴研究员与科学出版社刘宝莉、沈建等编辑做了许多繁琐而有成效的工作,在此一并表示感谢。

“21世纪岩土力学与工程研究中心在中国”,这一理念已得到世人的共识。我们生长在这个年代里,感到无限的幸福与骄傲,同时我们也感觉到肩上的责任与重大。我们组织编写这套丛书,希望能真实反映我国岩石力学与工程的现状与成果,希望对读者有所帮助,希望能为我国岩石力学学科发展与工程建设贡献一份力量。

《岩石力学与工程研究著作丛书》

编辑委员会

2007年11月28日

序 一

由于地质环境的复杂性,地球物理方法在进行信号解译时存在不确定性和非唯一性,而常规岩土工程勘察方法需进行大量的土工和岩石力学实验,需要进行人工录孔,且对于完整性差的岩土体及软弱结构面,不易取样,很难获得未扰动下的物理力学参数。采用仪器钻进系统,可在钻进过程中实时采集钻进参数,数据连续且信息量大,这为工程质量管理、控制以及岩土工程设计与检验提供了非常丰富的资料。通过对钻进参数与岩石强度、硬度及可钻性等指标间的响应分析,可对岩石进行坚固性分级,从而获取岩土地层的分层特性。

然而,由于地层变化的多样性,监测数据之间的相关性并不高,在数据解译分析方面,传统的相关性分析方法难以尽显其能。如何将这些信息变为工程所用,合理解译钻进数据与地层特性之间的关系,成了制约仪器钻进系统发展与应用的技术瓶颈。目前,尽管仪器钻进系统技术还不是很成熟,但该技术的研究对于推动岩土工程勘察技术朝自动化、数字化方向发展的意义重大。因此,研究和基于钻进参数的地层识别理论与方法是今后研究的重要内容和发展趋势。

该书作者从钻进能量与相似性原理出发,建立了响应分析的变斜率识别方法、能量识别理论及相似性识别理论,成果具有理论创新意义,其技术、方法与理论在岩土工程及其相关领域具有广阔的应用前景。

全书从仪器钻进系统的组成、工作原理、数据采集、参数标定到分析方法与理论的建立,浑然一体,逻辑性、系统性及可读性强,技术、方法与理论先进。该书的出版对推动岩土工程等相关领域的研究及学科的发展具有重要意义,可作为广大岩土工程领域的研究人员、工程师和专家学者的参考。

岩土工程界面识别理论是一门新兴学科,我希望有更多的人投入到这一研究中来,并深信它能在岩土工程学科发展及我国工程建设中发挥重要作用。

王思敬

中国科学院地质与地球物理研究所研究员

中国工程院院士

2007年10月22日

序 二

在岩土工程勘察中,常规钻探、土工及岩石力学试验不但费钱,而且费时。因此,研究仪器钻进系统,对钻进过程进行实时监测以取代土工和岩石力学试验的研究有很大的价值。利用钻进参数与地层特征之间的响应关系,从能量与相似性原理出发,建立岩土工程界面识别理论与方法,在岩土工程勘察、地质灾害探测、油气钻井、资源探测以及大陆科学钻探自动化等领域具有广泛的应用前景。

常规岩土工程勘察方法在进行钻孔的同时,须进行人工录孔以及大量的土工与岩石力学实验,且对于完整性差的岩土体及软弱结构面,不易取样,很难获得未扰动下的物理力学参数。近年来,尽管地球物理方法在勘探领域已取得长足的进步,但由于地质条件的复杂性,地球物理方法在进行信号解译时仍存在不确定性和非唯一性。

采用仪器钻进系统,可在钻进过程中实时采集钻进参数,数据连续且信息量大,通过对钻进参数与岩石强度、硬度及可钻性等指标间的响应分析,可对岩石进行坚固性分级,从而对岩土地层进行力学分层。然而,由于地层变化的多样性,监测数据之间的相关性并不高。如何将这些信息变为工程所用,合理解译钻进数据与地层特性之间的关系,成了制约仪器钻进系统发展与应用的技术瓶颈。

该书作者基于钻进参数在地层界面上的响应特征,从岩石强度、可钻性、钻孔能量及参数变化的相似性特征出发,建立了基于钻进参数可钻性指标、地层界面能量识别理论与相似性识别理论,其理论具有重大创新。

该书以仪器钻进系统及其在风化花岗岩地基中的应用为研究背景,介绍了仪器钻进系统的基本组成、工作原理、参数设置与标定,数据采集、分析方法,识别理论及其应用,全书文字表达流畅,深入浅出,逻辑性、系统性及可读性强。该书的出版对推动岩土工程等相关领域的研究及学科的发展具有重要意义,可作为广大岩土工程领域的研究人员、工程师和专家学者的参考。

蔡美峰

北京大学教授

国际岩石力学教育委员会主席

中国岩石力学与工程学会副理事长

2007年10月28日

前 言

根据钻探、土工及岩石力学试验对岩土进行力学分层是岩土工程勘察中一项非常重要的工作。但这项工作耗资大、费时长。而且,所获岩芯样本及数据有限,特别是在碎裂等软弱结构面或断层中很难取样,要获得沿钻孔全断面的连续图像及所穿透地层的力学特性是很困难的。地球物理方法作为很有前途的勘察方法,已应用于地层层序学及地质勘探中地层层序界面的识别。但是,由于地球物理方法高昂的测试费用以及信息解译的不确定性与多解性而受到限制。因此,研究仪器钻进系统,对钻进过程进行实时监测以取代土工和岩石力学试验的研究一直以来是国际岩土工程领域的前沿课题。

钻孔过程监测系统(drilling process monitoring system,DPM)是一种自动记录数据的仪器钻进系统(instrumented drilling system),又称随钻监测系统(monitored while drilling,MWD),最初用于油气田中测量钻孔偏斜、钻具力矩、施加在钻具上的重量以及简单的地层参数分析。

基于钻进参数对地层评价的研究源于海上及滨海地区难钻工程的需要,目的是通过仪器钻进系统,自动获取岩土的基本特征参数和地层沿孔深的连续剖面,从而克服传统岩土工程勘探方法中钻探、取样、土工及岩石力学试验工程量大、周期长、成本高等技术瓶颈。由于仪器钻进系统在场址特征、数值控制及质量管理等方面的重要性,自 20 世纪 80 年代以来,基于微处理器的钻机监测仪在钻机工作参数的感应、采集、存储和处理方面的应用已备受关注,由于它克服了地球物理方法在数据解译上存在的不确定性和非唯一性,仪器钻进系统被认为是在地层特征识别方面非常有潜力的一种方法。目前,基于微电子的监测系统可以记录扭矩、轴压、转速、穿孔速率、钻液流速/流量、压力及位移等各种钻孔参数。英国、法国、加拿大、美国、日本、中国及中国香港地区等对此进行了许多研究。该系统已从静态监测模式进入到了实时随机监测模式。这些系统包括 ENPASOL 系统、PAPERO 系统、Kajima 的车载地层测量系统、KYPC 及 HDK 等。由于仪器钻进技术在海上钻探中取得成功,激发了该项技术在岩土工程地层评价方面的研发。加拿大 Montreal 公司针对 Atlas Copco Roc 810H 旋转冲击式钻机在大理岩中的钻进研究表明,有效轴压和瞬时穿孔速率是非常重要的参数,与所穿透地层的岩性及岩体地质力学特性具有相关性。加拿大采矿自动化与模拟机器人中心(CCARM)基于特定钻机性能参数的响应对不同岩类进行自动识别,对钻进参数与 γ (gamma)、中子(neutron)及岩芯录孔结果进行相关性分析,并将传统的统计模式识别方法应用

于钻孔数据,以区别不同的岩石单元。

这些参数与钻孔深度的相关性分析已用来揭露所钻地层的强度和分层特性。穿孔参数与可钻性指标及岩石强度之间存在一定的关系。根据这一关系,可通过穿孔参数对地层进行识别。然而,由于传统方法所取得的岩芯样本及穿孔数据离散、随机、有限且代表性差,所以,基于传统方法以岩芯样本的可钻性实验所获数据进行的线性回归是局部的,很难反映钻孔剖面全过程的岩土特性(强度、硬度等)的变化。利用 DPM 系统,可实现对钻孔过程中钻进参数的自动采集,所监测数据具有实时、连续及样本海量的特点。

钻孔过程参数随时间的动态监测可为工程质量管理 and 控制以及岩土工程设计与检验提供丰富、有利的真实数据和资料。但研究表明,由于地层变化的复杂性及 DPM 系统采集数据海量且连续,参数间的相关程度并不高。为了克服现行技术、方法及理论上的局限性,针对海量实时数据,研究有效的分析方法,建立有关识别理论,实现对地层的准确识别是应用和发展 DPM 技术的关键。本书旨在结合 DPM 系统在香港风化花岗岩地基勘察中的应用情况,对穿孔参数与岩石强度及风化程度间的关系进行深入研究,确定其响应关系,建立界面识别的能量理论以及相似性识别理论,基于仪器钻进系统创立一套完整的地层识别技术、理论与方法。

全书共分八章。第 1 章对岩土工程中地层界面识别进行简单的概述;第 2 章主要介绍 DPM 系统的组成、工作原理以及各种传感器数据采集与标定方法;第 3 章主要介绍钻孔过程识别中参数的设置、类型以及参数曲线的变化特征;第 4 章至第 8 章相对独立,第 4 章对岩土的可钻性进行分析和定义,建立金刚石钻进中可钻性指标的计算公式,对可钻性指标在地层识别中的敏感性进行分析,建立基于金刚石可钻性指标的地层识别理论;第 5 章分析钻进参数随地层变化的基本规律,对钻进参数在界面处的变化及响应指标等进行分析计算;第 6 章对穿孔参数及岩石强度在界面上的变化及响应强度进行分析;第 7 章对金刚石钻进能量进行分析,确定有关能量的计算公式,分析地层中钻进能量的分布规律;第 8 章阐述相似性识别的基本原理,建立斜率搜索识别算法,形成相应的判别准则和方法,对穿孔参数之间的相似性进行识别和检验,最后基于钻进比功对地层进行判别分类。全书从钻进参数、钻进能量及钻进比功之间的相关性以及在界面处的响应特点出发,分析和解决界面识别中的有关理论问题。

岩土工程界面识别理论是一门全新的学科,有关技术、理论及方法还不是很成熟,加之著者水平有限,书中难免有不当和错误之处,恳请读者批评指正!

谭卓英

2007 年 10 月 16 日于北京

目 录

《岩石力学与工程研究著作丛书》序

《岩石力学与工程研究著作丛书》编者的话

序一

序二

前言

第 1 章 岩土工程界面识别方法概述	1
1.1 地层界面	1
1.2 界面识别的一般方法	1
1.2.1 静力触探试验	1
1.2.2 圆锥动力触探	2
1.2.3 标准贯入试验	2
1.2.4 岩石可钻性试验	3
1.2.5 地球物理探测试验	3
1.3 存在问题与发展趋势	3
1.4 研究内容、目的与意义	5
1.4.1 研究内容	5
1.4.2 目的与意义	5
参考文献	5
第 2 章 DPM 系统的组成与工作原理	7
2.1 国内外钻孔过程监测系统(DPM)的研究现状	7
2.2 DPM 系统的基本构成	9
2.3 钻机组成与工作原理	11
2.3.1 钻机类型、组成与工作原理	11
2.3.2 钻机工作参数	11
2.4 DPM 系统工作原理	12
2.4.1 作用于钻机/具动荷载-压力监测	12
2.4.2 钻具转速监测	13
2.4.3 钻头位移监测	13
2.4.4 流量的监测	13

2.5	DPM 系统参数设置	14
2.6	各种传感器的标定	16
2.6.1	压力传感器的标定	16
2.6.2	速转传感器的标定	23
2.6.3	位移传感器	24
	参考文献	25
第 3 章	DPM 系统数据的采集及基本图形	27
3.1	钻孔过程的识别	27
3.1.1	参数类型	27
3.1.2	钻孔过程的划分	27
3.1.3	钻孔过程参数阈值值的设置	31
3.1.4	DPM 系统的过程识别	35
3.2	监测过程曲线及其变化规律	35
3.2.1	工程背景	35
3.2.2	监测参量的实时变化曲线	37
3.2.3	钻进全过程曲线	39
3.2.4	钻进全过程曲线的特点	48
	参考文献	49
第 4 章	界面识别的基本理论	50
4.1	岩石的可钻性	50
4.2	基本假设	52
4.3	监测数据的预处理与噪声过滤	52
4.3.1	监测数据的预处理	52
4.3.2	监测数据的噪声过滤	52
4.4	基于轴压-转速-穿孔速率耦合的可钻性指标	54
4.5	可钻性指标对地层识别的敏感性	56
4.6	基于可钻性指标的地层识别	57
	参考文献	59
第 5 章	穿孔参数在岩土界面处的变化	60
5.1	穿孔作业特征及 DPM 系统的安装	61
5.1.1	穿孔作业特征	61
5.1.2	DPM 系统的安装	61
5.2	穿孔参数变化的基本规律	61
5.2.1	轴压随孔深变化的全过程曲线	61
5.2.2	钻具转速随孔深变化的全过程曲线	63

5.2.3 冲洗压力随孔深变化的全过程曲线	64
5.2.4 钻头位移随钻进时间变化的全过程曲线	66
5.3 岩土工程界面及其穿孔参数	68
5.3.1 界面值与岩性	68
5.3.2 在界面处的穿孔参数	70
5.4 界面处的响应指标	74
5.4.1 穿孔参数在界面处的变化	74
5.4.2 界面上的响应指标	76
参考文献	79
第6章 穿孔参数在风化花岗岩地层中的响应特征	81
6.1 岩石分级与强度特征	81
6.2 穿孔参数在界面处的变化	84
6.2.1 有效轴压力在界面上的变化	86
6.2.2 钻具转速在界面上的变化	90
6.2.3 冲洗压力在界面上的变化	93
6.2.4 穿孔速率在界面上的变化	95
6.3 穿孔参数在界面上的响应强度	99
6.3.1 普通风化花岗岩地层	99
6.3.2 充填土简单风化花岗岩地层	102
6.3.3 复杂风化花岗岩地层	106
第7章 风化花岗岩地层界面识别的能量原理	111
7.1 能量原理	112
7.2 钻进过程能量分析	113
7.3 钻进比功	121
7.4 金刚石旋转钻进能量在风化花岗岩地层中的变化特征	122
7.4.1 旋转钻进能量在普通风化花岗岩地层界面上的变化特征	122
7.4.2 旋转钻进能量在充填土-风化花岗岩地层界面上的变化特征	124
7.4.3 旋转钻进能量在复杂风化花岗岩地层界面上的变化特征	127
7.5 金刚石旋转钻进比功在风化花岗岩界面上的变化特征	130
7.5.1 旋转钻进比功在普通风化花岗岩地层界面上的变化特征	130
7.5.2 旋转钻进比功在充填土-风化花岗岩地层界面上的变化特征	131
7.5.3 旋转钻进比功在复杂风化花岗岩地层界面上的变化特征	133
7.6 金刚石旋转钻进比功与花岗岩分级	135
7.6.1 金刚石旋转钻进比功在不同花岗岩地层中的分布	135
7.6.2 基于金刚石旋转钻进比功的花岗岩岩体分级	139

参考文献	140
第 8 章 风化花岗岩地层界面识别的相似性原理	142
8.1 相似性识别的基本原理	143
8.2 斜率搜索识别法原理	144
8.2.1 样本提取	144
8.2.2 预处理	145
8.2.3 特征提取与特征库的建立	145
8.2.4 特征匹配算法——斜率搜索识别	146
8.2.5 相似识别的 t 检验	150
8.3 判别分类	151
8.3.1 聚类准则	151
8.3.2 判别分类方法	151
8.3.3 判别分类的有效性	154
8.4 穿孔参数之间的相似性	155
8.4.1 普通风化花岗岩地层中穿孔参数间的相似性	155
8.4.2 充填土-风化花岗岩地层中穿孔参数间的相似性	161
8.4.3 复杂风化花岗岩地层中穿孔参数间的相似性	167
8.5 基于金刚石钻进比功曲线的地层判别分类	173
8.5.1 聚类参数及类的门限值设置	173
8.5.2 普通风化花岗岩地层的判别分类	174
8.5.3 充填土-风化花岗岩地层的判别分类	176
8.5.4 复杂风化花岗岩地层的判别分类	178
参考文献	182
作者已发表与本书有关的论文	184
致谢	185

第1章 岩土工程界面识别方法概述

1.1 地层界面

地层界面是一种非连续面(discontinuous plane),地质学意义上的层序地层界面(stratigraphic interface)由层序地层学方法确定,它主要反映沉积地层的形成与演变规律,几乎没有工程属性。在岩土工程中,地层界面也是地质界面,但它有着丰富的工程属性,包括各种物质分界面、结构面、岩溶空洞和滑移面。其中,物质分界面包括土层、风化层、岩性分界面及各种人工材料分界面。结构面(structural plane)是地质历史发展过程中,在岩体内形成的具有一定延展方向和长度,厚度相对较小的地质界面或带,包括物质分界面和不连续面,如层面、不整合面、节理面、断层、片理面等,又称非连续面(discontinuities)或节理(joint)。结构面对工程岩体的完整性、渗透性、物理力学性质及应力传递等都有显著影响,是造成岩体非均质、非连续、各向异性和非线性弹性的原因之一。滑移面是地质过程中因人类工程活动或地质构造运动使地质体发生相对位移而形成的地质界面,因为滑移面更容易沿已有的弱面产生,所以,它可能是结构面、岩性分界面,也可能沿完全不同于已有的结构面和岩性分界面而形成新的地质界面。

1.2 界面识别的一般方法

1.2.1 静力触探试验

静力触探试验(cone penetration test, CPT)用于土层划分及土类判别,亦用于估算沙土相对密度、内摩擦角、黏土不排水强度、土的压缩模量、饱和黏土不排水模量、沙土初始切线弹性模量、初始切线剪切模量、地基承载力、单桩承载力、固结系数、渗透系数、黄土湿陷性系数及沙土和粉土的液化判别等。目前广泛应用的是电测静力触探,即将带有电测传感器的探头,以静力匀速贯入土中,根据电测传感器的信号,测定探头贯入土中所受阻力。分常规静力触探 CPT 和孔压静力触探 CPTU。CPT 分单桥和双桥探头,单桥触探测定比贯入阻力 p_s ,双桥触探测定锥尖阻力 q_c 和侧壁摩擦阻力 f_s 。CPTU 在 CPT 的基础上还可在贯入时能测量土中的孔隙水压力(u)。

静力触探传感器包括电阻率探头、测振探头、侧应力探头、旁压探头、波速探